

Interfaces Tangíveis para a Educação

1

Abstract. *Personal computers are increasingly popular in schools. However, there is little consensus as to how they can be effectively used for learning. Tangible interfaces for Education are innovative didactic resources in which computation is embedded in concrete objects, bringing together benefits of physical manipulation and forms of interaction provided by technology. In this work, we present a critical analysis of tangible interfaces for Education, looking at aspects we consider fundamental for their effectiveness in schools, such as: accessibility, scaffolding, adequacy to classrooms and curriculum, collaborative use, user engagement and simple interface.*

Resumo. *Computadores pessoais têm se tornado cada vez mais populares nas escolas. Porém, ainda não existe um consenso estabelecido para seu uso de forma efetiva para a aprendizagem. As interfaces tangíveis para a Educação são recursos didáticos inovadores nos quais a computação é embutida em objetos concretos, unindo as vantagens da manipulação física às formas de interação providas pela tecnologia. Neste trabalho, apresentamos uma análise crítica de interfaces tangíveis para Educação, investigando aspectos que consideramos fundamentais para sua efetividade em escolas, como: acessibilidade, scaffolding, adequação à sala de aula e ao currículo, uso colaborativo, engajamento do usuário e simplicidade de interface.*

1. Introdução

Computadores são recursos didáticos que têm se tornado cada vez mais presentes nas escolas. No entanto, a introdução dos computadores pessoais nas instituições de ensino ainda não causou grandes impactos na aprendizagem dos alunos [Borba and Villareal 2005]. Além de obstáculos práticos como custo, burocracia escolar e resistência e medo dos professores [Kleiman 2000], ainda não se chegou a um consenso sobre como usar os computadores efetivamente na Educação [Borba and Villareal 2005].

As interfaces tangíveis constituem uma abordagem inovadora que propõe a utilização da computação em benefício da Educação de outras formas além dos computadores pessoais. A idéia é embutir elementos computacionais em materiais concretos, criando um novo grupo de recurso didático que une as vantagens da manipulação física à interação e multimídia providas pela tecnologia. Enriquecendo os materiais concretos, os recursos computacionais podem ajudar a estimular e trabalhar diversos sentidos (visão, audição, tato) e promover uma maior inclusão de portadores de deficiências.

Neste artigo, apresentamos as interfaces tangíveis (Seção 2) e em seguida discutimos o papel das mesmas no campo educacional (Seção 3). Na Seção 3.1, fazemos uma análise de interfaces tangíveis já desenvolvidas para a Educação, de acordo com critérios como colaboração, comunicação, engajamento, acessibilidade, usabilidade, suporte ao aluno e adequação às escolas brasileiras.

2. Interfaces Tangíveis

As interfaces tangíveis fazem parte de um programa maior de pesquisa e desenvolvimento de tecnologias [O'Malley and Fraser 2004] conhecido como computação pervasiva ou ubíqua (ubicomp). Mark Weiser, criador do conceito de ubicomp, definiu uma visão do mundo digital misturado a tal ponto ao ambiente físico que acaba tornando-se “invisível” ou “transparente” [Weiser et al. 1999]. Esta expansão do contexto em que a tecnologia é usada evidencia uma necessidade de novas formas de interação entre humanos e tecnologia, mais adequadas às habilidades humanas [Dourish 2001]. Pesquisadores da área de Interação Humano-Computador IHC estão crescentemente voltando sua atenção para objetos físicos cotidianos [Resnick et al. 1998] a serem usados na interação com as máquinas, e daí deriva o conceito de interfaces tangíveis (*tangible user interfaces* - TUIs).

As interfaces tangíveis buscam mudar o paradigma tradicional de entrada e saída, criando novas possibilidades de interação que unem os mundos digital e físico [Ullmer and Ishii 2000] *apud* [O'Malley and Fraser 2004], e em alguns casos até mesmo eliminando a distinção entre dispositivos de entrada e saída [Fishkin 2004]. Porém, a definição das TUIs ainda é um tanto nebulosa. O fato de ser manipulada não é suficiente para caracterizar uma interface tangível. As TUIs estão associadas a significados e objetivos específicos, ao contrário de um mouse, por exemplo, que é um dispositivo de entrada sem nenhum significado próprio [O'Malley and Fraser 2004].

3. Interfaces Tangíveis para a Educação

A introdução de tecnologia em sala de aula tem o potencial de estender e ampliar o número e tipos de experiências de aprendizagem dos alunos [Proctor et al. 2001]. Interfaces tangíveis apresentam uma oportunidade de criar sistemas físicos de modelagem computacionalmente aumentados, que possuem vantagens tanto dos dados digitais (como o fato de serem editáveis) quanto do aspecto físico do modelo tangível [Raffle et al. 2004]. [Zuckerman et al. 2005] citam algumas vantagens trazidas pelas interfaces tangíveis para a Educação:

- **engajamento sensorial:** as crianças aprendem de forma natural, usando vários sentidos (toque, visão, audição) em um processo construtivo que aumenta a retenção e transferência do conteúdo.
- **acessibilidade:** interfaces tangíveis fornecem mais opções a crianças com necessidades especiais;
- **aprendizagem em grupo:** interfaces tangíveis facilitam trabalho colaborativo e discussões.

[Hoyles and Noss 1999] *apud* [Price et al. 2003] acrescentam que as interfaces tangíveis proporcionam uma “aprendizagem divertida”, a qual contempla a exploração através de interação, engajamento, reflexão, imaginação, criatividade e diferentes níveis de abstração, e colaboração. A colaboração encoraja a comunicação: as crianças externalizam seus pensamentos, aumentando sua consciência sobre a experiência de aprendizagem que estão vivenciando [Price et al. 2003], [Scarlatos and Scarlatos 2000].

No contexto educacional, as interfaces tangíveis, chamadas de “coisas que pensam” por [Resnick et al. 1998], são interessantes apenas se elas forem também “coisas com as quais pensar”. É fundamental que as crianças gerem conceitos estruturais em vez de se tornarem apenas dependentes do ambiente e suas estruturas

[Martin and Schwartz 2005]. Esta determinação do nível apropriado de *scaffolding* fornecido pelos materiais auxiliares representa um desafio pedagógico crítico. Suportes úteis deveriam ajudar a criança a encontrar e trabalhar com aspectos críticos do problema, sem fazer o trabalho pela criança. [Marshall et al. 2003] discutem duas categorias de tecnologias tangíveis para a aprendizagem:

- **expressivas:** estes sistemas incorporam as atividades dos usuários permitindo que eles criem representações externas delas. Criando estas representações, os usuários “expressam” suas idéias e tornam seu conhecimento explícito, revelando possíveis inconsistências e suposições incorretas.
- **exploratórias:** este tipo de interface não incorpora a atividade do usuário. Os alunos focam na maneira como o sistema funciona, e não nas representações externas que eles constroem. Assim, eles “exploram” o sistema.

3.1. Exemplos de Interfaces Tangíveis para Educação

Nesta seção analisamos alguns exemplos de interfaces tangíveis desenvolvidas para a Educação, classificadas em duas categorias: “TUI usada para entrada e GUI (*graphical user interface*) para saída” e “Manipulativos digitais”.

3.1.1. TUI Usada para Entrada e GUI para Saída

Nesta seção, mostramos artefatos através dos quais as crianças podem manipular objetos físicos e acompanhar os efeitos desta manipulação em uma tela de computador. Em aplicações deste tipo, objetos concretos diversos podem ser usados para provocar efeitos digitais, atuando como *phicons* [O'Malley and Fraser 2004]. Apesar da interação entre usuário e sistema ocorrer por meio destes dispositivos de entrada tangíveis, as aplicações aqui apresentadas têm forte dependência do computador tradicional. O dispositivo de saída é a tela do computador, e é por intermédio dela que o retorno é dado à criança. A dependência do computador traz dificuldades como custo de aquisição e manutenção, resistência e medo de professores e pouca mobilidade. Em aplicações deste tipo, não é fácil deslocar o sistema entre diferentes espaços nas escolas. Por este motivo, o sistema provavelmente ficaria em uma sala especial, assim como os computadores costumam ser colocados em laboratórios, tornando mais difícil o acesso e uso pelos alunos.

A *Tangible Interface for Collaborative Learning Environments* (TICLE) [Scarlato et al. 1999] permite rastrear movimentos realizados com objetos concretos e mapeá-los para um computador tradicional. O uso de objetos concretos como dispositivos de entrada é simples e natural para a criança, que não precisa preocupar-se com instruções específicas a serem dadas ao sistema. O retorno é dado através da tela do computador, na forma de dicas que guiam a criança à resolução do problema, sem contudo dar a resposta. Isto pode ser extremamente válido em situações em que um único professor tem uma turma toda para acompanhar. Este retorno é visual e auditivo, sendo este último imprescindível para o acesso de deficientes visuais. A Torre de Hanoi e o Tangram são dois jogos matemáticos que foram adaptados a TICLE. As atividades podem ser realizadas individual ou colaborativamente.

[Scarlato and Scarlato 2000] também desenvolveram dois tipos de “tapetes matemáticos”: o *SmartStep* e o *FloorMath*. Cada tapete possui sensores que detec-

tam os movimentos das crianças sobre ele e são ligados a um computador que mostra a representação virtual do tapete e guia as atividades das crianças. Os tapetes usam atividade física para reforçar conceitos matemáticos básicos como contagem e operações aritméticas, estimulando ao mesmo tempo coordenação motora, reconhecimento de padrões e ritmo. Por ser totalmente baseada na ação física (pular ou andar), a forma de interação das crianças com os tapetes matemáticos é simples, natural e aumenta o engajamento na atividade, remetendo ao lúdico. Os tapetes podem estimular a coordenação motora, inclusive de crianças com necessidades especiais. Os tapetes não provêm, no entanto, possibilidades para uso por deficientes visuais.

SmartStep e *FloorMath* não estimulam a colaboração, pois permitem apenas um usuário por vez. Os autores [Scarlatos and Scarlatos 2000] não deixam claro como é dado o retorno à criança a cada movimento realizado, mas não é feita menção à existência de diferentes formas de *scaffolding*. Assim, este tipo de ajuda ficaria a cargo do educador.

TICLE e os tapetes matemáticos provêm atividades exploratórias: as crianças investigam os conceitos matemáticos representados pelo sistema.

Storyline [Nemirovsky and Wright 2004] foi produzido no *Technology Education Research Center* - TERC¹. Neste sistema tangível, dois carros podem ser movidos ao longo de trilhos, provocando mudanças em um gráfico mostrado na tela de projeção. Trata-se de um retorno em tempo real das posições físicas dos carros em um gráfico de distância por tempo. O computador grava a movimentação feita com os carros, podendo reproduzi-la. O propósito do sistema é relacionar conceitos matemáticos a experiências físicas no mundo real [Nemirovsky and Wright 2004].

A interação com o sistema remete claramente ao lúdico: a brincadeira com carinhos é totalmente natural para as crianças, que costumam ficar muito engajadas. O fato de a entrada do sistema consistir em movimentar os carros torna o sistema muito simples de usar. *Storyline* pode ser usado colaborativamente, promovendo debate entre as crianças. O retorno visual é a principal saída do sistema e os autores não fazem menção a algum tipo de retorno auditivo que proporcione o acesso a deficientes visuais. O retorno do sistema não está direcionado a guiar o usuário até uma resposta certa, e sim permitir que ele explore um modelo físico-matemático e tire suas próprias conclusões (atividade exploratória).

O conjunto de “Mesas educacionais”, desenvolvidas pela empresa brasileira Positivo Informática² utiliza computadores e materiais didáticos concretos. A Positivo alega que as mesas permitem o desenvolvimento de coordenação motora, expressão oral e escrita, pensamento lógico, entre outros, além de promover a estimulação de crianças com deficiências físico-motoras e mentais. As atividades são estruturadas em função da idade e nível de aprendizagem. A interação com o sistema pode ser feita diretamente com a interface gráfica através do *mouse* e de um teclado especial, ou mediante a manipulação dos materiais concretos correspondentes aos apresentados na tela do computador. Segundo relatos de professores, a combinação dos computadores com esta grande diversidade de materiais promove interesse e engajamento das crianças nas atividades. As mesas permitem o trabalho conjunto de até seis crianças, favorecendo e estimulando a socialização

¹<http://www.terc.edu> Acesso em: 25 jan. 2007.

²<http://www.positivoinformatica.com.br> Acesso em: 25 jan. 2007.

e o desenvolvimento de atividades em grupo. Apesar das atividades de cada tipo de mesa educacional não estarem detalhadas no sítio da Positivo Informática, elas parecem ser de natureza exploratória.

Livro Vivo é uma proposta dos autores [Xxxxx 2004] que consiste de um kit composto de um aparelho projetor munido de gravador e auto-falante e um conjunto de livros. Para cada livro, haveria um conjunto de imagens e uma narração associada, os quais seriam reproduzidos quando as páginas dos livros fossem tocadas em uma região específica. No caso de *Livro Vivo*, a GUI é representada pela projeção na parede e não pela tela de um computador. *Livro Vivo* foi projetado a partir de observações em salas de aula brasileiras, com o objetivo de tornar mais proveitosa, dinâmica e interativa a atividade de leitura coletiva. A interação com o sistema se daria de forma simples, através do toque das páginas dos livros e de controles básicos no aparelho projetor. As atividades realizadas seriam exploratórias e naturalmente coletivas. Por usar recursos visuais e auditivos, *Livro Vivo* permitiria a inclusão de cegos e surdos.

3.1.2. Manipulativos Digitais

[O'Malley and Fraser 2004] e [Zuckerman et al. 2005] definem *manipulativos digitais* como objetos físicos com computação embarcada, ou seja, objetos que contêm propriedades computacionais embutidas neles mesmos. Nestes casos, não há computadores tradicionais envolvidos: a TUI é a entrada e a saída. Em artefatos deste tipo o usuário, ao manipular objetos físicos, pode acompanhar os efeitos de suas ações sobre o próprio objeto, o que caracteriza uma interação com o mundo digital mais próxima do que ocorre no mundo real. No contexto educacional, a independência do computador é um dos grandes trunfos dos manipulativos digitais. Eles podem ter um custo mais baixo e ser manuseados e transportados mais facilmente, o que aumenta as chances de serem adotados e estarem disponíveis em sala de aula, no momento em que o professor precisar.

[Resnick et al. 1998] e [Zuckerman et al. 2005], do grupo do M.I.T. *Tangible Media*³, criaram os *SystemBlocks* e *FlowBlocks*, destinados a dar a crianças uma melhor compreensão acerca de sistemas dinâmicos através de brincadeira e montagem. A interação consiste apenas na manipulação dos blocos, o que facilita a aceitação do material. Os dois sistemas podem facilmente ser usados colaborativamente e são artefatos adaptáveis ao espaço da sala de aula. No entanto, os blocos não oferecem ajuda (*scaffolding*) às crianças, apenas refletem o resultado das ações feitas sobre eles. A presença do educador faz-se, portanto, bastante necessária durante as atividades, principalmente no caso de surgirem dificuldades. [Zuckerman et al. 2005] relatam interesse e engajamento das crianças ao lidar com os artefatos. O *SystemBlocks* apresenta a possibilidade de retorno auditivo, mas no caso do *FlowBlocks*, o retorno do sistema é totalmente baseado na emissão de luz, o que impede o acesso de deficientes visuais.

O *Lifelong Kindergarten*⁴ - M.I.T. tem uma proposta de acrescentar funcionalidades computacionais aos brinquedos tradicionais, redefinindo o que e como as crianças aprendem, proporcionando a exploração de conceitos matemáticos e científicos através da manipulação direta de objetos físicos. É, portanto, uma proposta muito próxima das

³<http://tangible.media.mit.edu/> Acesso em: 25 jan. 2007.

⁴<http://llk.media.mit.edu/> Acesso em: 25 jan. 2007.

idéias já apresentadas até aqui. O *Lifelong Kindergarten* criou dois tipos de manipulativos digitais, *Stackables* e *Programmable Beads* [Resnick et al. 1998].

Os *Stackables* são blocos que se comunicam com seus vizinhos e acendem seus LEDs. Uma pilha de blocos forma uma pequena rede de computadores, com compartilhamento de dados. A pilha forma um dispositivo de visualização distribuído, que pode ser configurado em tempo real, adicionando-se mais blocos à pilha ou rearrumando a mesma. Cada nova arrumação dos blocos gera diferentes padrões de comportamento. *Programmable Beads* têm um comportamento parecido, porém assumem a forma de “bijuterias computacionais” para as crianças brincarem e aprenderem [Resnick et al. 1998]. Existem dois níveis de dificuldade para se trabalhar com *Beads* e *Stackables*: crianças iniciantes podem usar peças pré-programadas e observar o comportamento de suas combinações; usuários mais avançados podem eles mesmos escrever, em um computador, programas para as peças, que podem então ser baixados nelas [Resnick et al. 1998]. Neste último caso, porém, é necessário o uso de um computador pessoal, o que pode ser um entrave, dependendo do contexto. A interação das crianças com *Beads* e *Stackables* é simples e natural. Os autores relatam interesse das crianças ao interagir com os artefatos [Resnick et al. 1998]. O ato de montar permite trabalhar a coordenação motora e assim engajar crianças com necessidades especiais. Porém, o retorno dado por *Beads* e *Stackables* é visual, o que limita o seu uso por deficientes visuais.

Os *Electronic Blocks*, ou “blocos eletrônicos” [Wyeth and Purchase 2002] são uma proposta do Departamento de Computação da Universidade de Queensland e alinham-se com as propostas de blocos programáveis já citadas, trazendo, porém, uma maior diversidade de efeitos. Os blocos são elementos tangíveis de programação, dotados de circuitos eletrônicos. Podem ser empilhados e combinados para formar estruturas que interagem com o mundo físico. Existem três tipos de blocos: sensores (detectam luz, som e toque), atuadores (produzem luz, som e movimento) e lógicos (fazem negação, conjunção, atraso e outros). Ao conectar os blocos, as crianças montam programas nos quais cada bloco pode ter uma função diferente. As saídas dos programas são ilustradas por meio do movimento de um carro, uma música ou uma luz. Os blocos são facilmente conectados, e a interação com eles é, portanto, simples e natural para as crianças. Os blocos parecem ter diferentes formatos de acordo com sua função - isso permite o uso por crianças com deficiências visuais, que também podem se valer dos retornos do sistema através de som e movimento. [Wyeth and Purchase 2002] relatam altos níveis de interesse nos testes do produto com crianças. Além disso, segundo os autores, as crianças procuravam e conseguiam usar os blocos sem ajuda de adultos.

Beads, *Stackables*, *SystemBlocks*, *FlowBlocks* e *Electronic Blocks* têm vários pontos em comum. Como todos eles, os usuários precisam aprender e compreender o objetivo e o funcionamento de cada tipo de componente, trazendo certa complexidade à interação com os sistemas. As atividades com os blocos são expressivas, pois estes não representam um modelo específico a ser explorado, mas provêem meios de a criança pôr em prática suas idéias.

Do ponto de vista prático, *Beads*, *Stackables*, *SystemBlocks*, *FlowBlocks* e *Electronic Blocks* são artefatos facilmente adaptáveis à sala de aula. Porém, os conceitos envolvidos na manipulação destes blocos são relativamente complexos e normalmente não fazem parte do currículo escolar no ensino elementar (Ensino Fundamental, no Brasil).

As exigências curriculares e burocracia escolar podem não deixar espaço para introdução de tais artefatos no dia-a-dia da sala de aula.

Uma outra criação do M.I.T. *Tangible Media* é a *BitBall*, uma esfera transparente do tamanho de uma bola de beisebol, que possui no seu interior um acelerômetro e um conjunto de LEDs, de modo que possa analisar seu próprio movimento e fornecer informações sobre ele, entre outras ações [Resnick 1998]. Uma criança pode escrever um programa para a *BitBall* em um computador pessoal, e então carregar o programa na bola através de infravermelho. Por exemplo, pode-se programar a *BitBall* para piscar a luz vermelha ou emitir um som sempre que a bola experimentar uma aceleração ou uma desaceleração. As atividades com a *BitBall* são exploratórias. A interação com a *BitBall* é fácil e extremamente natural. A bola é um dos brinquedos mais populares até hoje e, segundo os autores [Resnick 1998], provoca grande engajamento das crianças. A diversidade de mídias na interação com a *BitBall* favorece o uso por crianças com necessidades especiais. Tanto o uso individual quanto o colaborativo são possíveis com a *BitBall*. Porém, a utilidade educativa da *BitBall* depende da inserção de instruções e análise de dados que só podem ser feitas por intermédio de um computador pessoal e do *software* correspondente. O educador tem papel fundamental na escolha e orientação das atividades, e a facilidade de uso pelos alunos depende da interface deste *software*. Além desta dependência, as experiências realizadas com a bola sugerem um espaço aberto, diferente da sala de aula, o que pode ou não vir a ser uma dificuldade para uso da *BitBall* em escolas.

Parts&Bits é uma proposta dos autores [Xxxxx 2007] projetada para auxiliar o ensino e aprendizagem de frações, com foco em relações parte-todo de figuras planas. *Parts&Bits* busca estimular a reflexão das crianças, levando-as a explorar e visualizar diferentes formas de particionar figuras. Com *Parts&Bits*, os alunos podem formar e dividir figuras geométricas utilizando varetas conectáveis sobre um tabuleiro, o qual guiaria as crianças por meio de sinais gráficos e sonoros, com três níveis de auxílio. *Parts&Bits* poderia ser usado por pequenos grupos na sala de aula, como ferramenta auxiliar em atividades expressivas orientadas pelo educador. A interação com o sistema se daria exclusivamente através da manipulação das varetas sobre o tabuleiro.

3.1.3. Resultados da Análise Comparativa

A investigação realizada com vários exemplos de interfaces tangíveis para Educação nos permitiu analisar aspectos importantes de cada artefato. Acreditamos que estes aspectos são fundamentais para o desenvolvimento de interfaces tangíveis para a Educação úteis, efetivas e adequadas ao contexto onde serão inseridas. Chegamos às seguintes conclusões gerais, considerando cada aspecto destacado:

- **independência do computador pessoal:** os artefatos do tipo “TUIs como entrada e GUIs como saída” são dependentes do computador pessoal ou de alguma forma alternativa de exibição de imagens. Entre os manipulativos digitais, há casos em que existem situações de necessidade do computador pessoal para certas atividades;
- **acessibilidade:** o uso de recursos multimídia em vários artefatos permite que eles sejam adaptados para casos especiais. Como a principal forma de saída utilizada

é a visual, é importante sempre fornecer outras alternativas para atender a estes casos;

- **scaffolding e diferentes níveis de dificuldade:** alguns artefatos apresentam *scaffolding* progressivo de acordo com o desenvolvimento das competências do aluno. O *scaffolding* torna o aluno menos dependente do professor, o que pode ser desejável na dinâmica da sala de aula, em que há apenas um professor para muitos alunos. Outros artefatos, apesar de não fornecerem um suporte desse tipo ao usuário, possuem mais de um nível de dificuldade, permitindo um certo ajuste à evolução do aluno. Por fim, há aqueles produtos que não apresentam variações deste tipo, possuindo apenas atividades fixas;
- **adequação física à sala de aula:** o tamanho, a portabilidade e as condições físicas envolvidas no uso dos artefatos são fatores com forte influência na possibilidade de os mesmos serem adotados em sala de aula. Nas condições atuais das escolas brasileiras, artefatos com dependência do computador pessoal dificilmente podem ser instalados nas salas de aula. O mesmo ocorre com sistemas muito grandes, como o *Storyline*, ou com produtos que tenham um uso mais direcionado a espaços abertos, como a *BitBall*. Entre os produtos analisados, o grupo de blocos de montagem é o que mais se adequa ao espaço físico da sala de aula;
- **uso colaborativo:** a possibilidade de colaboração entre os alunos é um aspecto vantajoso. Para a maioria dos produtos, mesmo que não haja uma intenção explícita do desenvolvedor de proporcionar o uso colaborativo, é possível fazê-lo sem maiores dificuldades. Dentre os produtos analisados, os únicos que apresentam reais dificuldades para o uso colaborativo são os tapetes matemáticos;
- **engajamento do usuário:** a associação com o lúdico e a possibilidade de manipulação de objetos concretos costumam gerar grande interesse e engajamento por parte das crianças. A maioria dos produtos são claramente motivantes para as crianças. Parece um pouco mais difícil manter o aluno engajado com o grupo de blocos de montagem, por eles lidarem com conceitos mais complexos e abstratos;
- **adequação ao currículo escolar:** para um produto ser incorporado à sala de aula, o professor precisa de tempo, além de uma boa justificativa. Em outras palavras, com a pressão de cumprir o cronograma e o currículo previsto, os materiais didáticos mais úteis e proveitosos são aqueles que ajudam o professor a ensinar os conteúdos programáticos. Artefatos que propõem o ensino de conceitos mais complexos do que os normalmente trabalhados, como os blocos de montagem, mesmo sendo válidos podem não encontrar espaço na rotina escolar.
- **simplicidade de interface:** para ter uma boa aceitação por parte de alunos e professores e não gerar insegurança e resistência nem tampouco trazer entraves ao processo de ensino-aprendizagem, os produtos devem ter uma interface cujo uso seja simples e aprendido rapidamente. No caso dos artefatos do tipo “TUIs como entrada e GUIs como saída”, a simplicidade da interface depende tanto da forma de entrada quanto de saída. Em vários casos, o dispositivo de entrada provê uma interação extremamente simples, porém a informação visual dada pelo sistema pode ser complexa. Na categoria dos manipulativos digitais, as maiores dificuldades referem-se ao aprendizado detalhado do funcionamento dos componentes do sistema, indispensável para que o uso de alguns dos produtos seja pedagogicamente proveitoso.

4. Conclusões

O uso dos computadores pessoais ainda enfrenta muitos obstáculos nas escolas brasileiras [Da Silva 2005]. Fatores como custo de aquisição e manutenção, número de computadores por aluno, modificação do planejamento das aulas, burocracia escolar e resistência e falta de preparação dos professores face a uma tecnologia muitas vezes difícil de usar e pouco natural dificultam o uso dos computadores como recurso comum e efetivo durante as aulas.

A proposta das interfaces tangíveis é agregar computação aos objetos físicos, expandindo as possibilidades oferecidas pelos mesmos. No contexto educacional, a computação aliada aos materiais concretos pode vir a auxiliar mais efetivamente o processo de ensino-aprendizagem [Resnick et al. 1998], fornecendo novas possibilidades de interação e multimídia para incrementar as atividades didáticas.

Várias interfaces tangíveis já foram propostas para Educação. Neste trabalho, apresentamos uma análise crítica de algumas delas, investigando aspectos que consideramos fundamentais para o desenvolvimento de artefatos úteis, efetivos e viáveis para uso em salas de aula brasileiras, a saber: independência do computador pessoal, acessibilidade, *scaffolding*, adequação física à sala de aula, uso colaborativo, engajamento do usuário, adequação ao currículo escolar e simplicidade de interface. Acreditamos que tais aspectos devem ser levados em consideração para a adoção e/ou desenvolvimento de artefatos tecnológicos tangíveis direcionados ao contexto educacional.

Referências

- Borba, M. C. and Villareal, M. E. (2005). *Humans-with-Media and the Reorganization of Mathematical Thinking. Information and Communication Technologies, Modeling, Visualization and Experimentation*. Mathematics Education Library. Volume 39. Springer, USA.
- Da Silva, J. M. (2005). Two sides of technology. *Braz-Tesol Newsletter*, 8.
- Dourish, P. (2001). *Where the action is: the foundations of embodied interaction*. The MIT Press, USA.
- Fishkin, K. (2004). A taxonomy for and analysis of tangible interfaces. *Personal and Ubiquitous Computing*, 8(5):347–358.
- Hoyles, C. and Noss, R. (1999). Playing with (and without) words. In *Proceedings of the Seventh European Logo Conference (Eurologo'99)*, pages 18–29, Sofia, Bulgaria.
- Kleiman, G. M. (2000). Myths and realities about technology in K–12 schools. In Gordon, D. T., editor, *The Digital Classroom: How Technology Is Changing The Way We Teach and Learn*, pages 103–116. Harvard Education Letter, Cambridge, USA.
- Marshall, P., Price, S., and Rogers, Y. (2003). Conceptualising tangibles to support learning. In *Proceedings of Interaction Design and Children (IDC'03)*, Preston, UK. ACM Press.
- Martin, T. and Schwartz, D. L. (2005). Physically distributed learning: Adapting and reinterpreting physical environments in the development of fraction concepts. *Cognitive Science*, 29(4):587–625.

- Nemirovsky, R. and Wright, T. (2004). Storyline. *Hands On!*, 27(1). Available at: <http://www.terc.edu/handsonIssues>. Accessed on: 23 dec. 2006.
- O'Malley, C. and Fraser, D. S. (2004). Literature review in learning with tangible technologies. Technical Report 12, NESTA Futurelab.
- Price, S., Rogers, Y., and Scaife, M. (2003). Using tangibles to promote novel forms of playful learning. *Interacting with Computers*, 15(2):169–185. Special Issue on Interaction Design and Children.
- Proctor, R. M. J., Baturo, A. R., and Cooper, T. J. (2001). Integrating concrete and virtual materials in an elementary mathematics classroom: a case study of success with fractions. In *Proceedings of Seventh World Conference on Computers in Education*, volume 8, pages 87–92.
- Raffle, H., Parkes, A., and Ishii, H. (2004). Topobo: A constructive assembly system with kinetic memory. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI'04)*, Vienna, Austria.
- Resnick, M. (1998). Technologies for lifelong kindergarten. *Educational Technology Research and Development*, 46(41).
- Resnick, M., Maryin, F., Berg, R., Boovoy, R., Colella, V., Kramer, K., et al. (1998). Digital manipulatives: new toys to think with. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI'98)*, pages 281–287, Los Angeles, USA.
- Scarlato, L. L., Dushkina, Y., and Landy, S. (1999). TICLE: A tangible interface for collaborative learning environments. In *Extended Abstracts of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI'99)*, pages 260–261, Pittsburgh, USA.
- Scarlato, T. and Scarlato, L. (2000). Tangible Math Applications. Available at: <http://www.cs.sunysb.edu/~tony/research/Math.pdf>. Accessed on: 12 aug. 2006.
- Ullmer, B. and Ishii, H. (2000). Emerging frameworks for tangible user interfaces. *IBM Systems Journal*, 39(3/4):915–931.
- Weiser, M., Gold, R., and Brown, J. (1999). The origins of ubiquitous computing research at PARC in the late 1980s. *IBM Systems Journal*, 38(4).
- Wyeth, P. and Purchase, H. C. (2002). Tangible programming elements for young children. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI'02)*, pages 774–775, Minneapolis, USA.
- Xxxxx, X. (2004). (referência suprimida a bem da preservação do anonimato dos autores).
- Xxxxx, X. (2007). (referência suprimida a bem da preservação do anonimato dos autores). Master's thesis.
- Zuckerman, O., Saeed, A., and Resnick, M. (2005). Extending tangible interfaces for Education: digital Montessori-inspired manipulatives. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI'05)*, pages 859–868, Portland, USA. ACM Press.